智能电表在开展碳排放权交易和节能降低碳排放量活动中的新应用

张春晖 [1]　　张震 [2]

(1. 国网山东省电力公司， 山东 济南 250100；2．华能济南黄台发电有限公司， 山东 济南 250100)

摘　要：本文讨论了发电行业在国内首先开展碳排放权交易活动的情况，并强调了明智应用人工智能在碳排放管理中的重要性。文章介绍了碳排放权交易管理办法和实施方案，重点关注了发电机组碳排放量的核算与机组供电量的关系，以及电网关口结算电能计量装置（智能电表）在碳排放量考核计量中的特殊性和新要求。文章还提到电力系统开展节能降低碳排放量活动，将推进新一代智能电表的新应用。

关键词：智能电表　碳排放权交易　电力系统

中图分类号：TM933.4

New applications of smart meters in carbon emission trading and energy conservation to reduce carbon emissions

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1. State Grid Shandong Elect Power Co Ltd,Jinan , Shandong 250100 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract: This article discusses the situation of the power generation industry taking the lead in domestic carbon emission trading activities and emphasizes the importance of wise application of artificial intelligence in carbon emission management. The article introduces the management measures and implementation plans for carbon emission trading, focusing on the relationship between the accounting of carbon emissions from power generation units and the power supply of the units, as well as the particularities and new requirements of grid gateway settlement energy metering devices (smart meters) in carbon emission assessment and measurement. The article also mentions that the power system's energy conservation and carbon emission reduction activities will promote new applications of the new generation of smart meters.

Key words:Smart Meter　Carbon Emission Trading　Electric Power System

0　引言

生态环境部已发布《碳排放权交易管理办法（试行）》（以下简称"文件 A"）和《2019--2020 年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案（发电行业）》（以下简称"文件 B"）。未来，以此管理办法为统领，生态环境部还将制定并发布温室气体核算报告与核查、碳排放权登记交易结算等方面规范性文件 。

由此可见，发电行业将在国内首先开展碳排放权交易活动，发电机组二氧化碳排放量由机组供电量与二氧化碳排放当量的乘积来核算。此机组供电量，由电网关口结算电能计量装置（智能电表）计量。同时，电力系统发电厂、电网、用户侧的节能电量，都直接减少碳排放量，需要逐步组织开展碳排放量考核计量。由此，本文将作为 2021 年 4 月 28 日文稿的补充，论述发电行业首先开展碳排放权交易过程、机组碳排放量核算与机组供电量关系;讨论电网关口结算电能计量装置（智能电表）计量的特殊性，强化计量新要求;同时，说明电力系统开展节能降低碳排放量活动，将推进新一代智能电表的新应用。

1，发电行业首先开展碳排放权交易活动，是国家采用市场化运作，推进我国碳中和目标实现的重大决策

碳排放，是指煤炭、石油、天然气等化石能源燃烧活动和工业生产过程以及土地利用变化与林业等活动产生的温室气体排放，也包括因使用外购的电力和熱力等所导致的温室气体排放。

1）我国碳排放总量与降低温室气体排放的首要措施

据报道:我国每年向大气排放的二氧化碳超过 100 亿吨，已多于美国成为世界上最大的温室气体排放国，排放量约占世界总排放量的四分之一。

2020 年 9 月，习近平总书记在联合国大会上作出"努力争取 2030 年前实现碳达峰，2060 年前实现碳中和的承诺"。

2020 年，我国能源消费总量为 49.8 亿吨标准煤。其中:煤炭消费量，占全国能源消费总量的 56.8%;石油消费量，占 20.3%;天然气消费量占 10.4%。以上煤炭、石油、天然气消费量三项合计，占全国能源消费总量的 87.5%。而煤炭消费量又占这三项合计（87.5%）的 65%。可见，降低煤炭燃烧的碳排放量，是我国降低温室气体排放的首要措施。

2）国内，与钢铁、建材、化工等耗煤行业相比，发电行业的年煤消费量特别大，降低碳排放量的任务繁重

— 2020 年，全国发电装机总容量为 22 亿 kW。其中，煤电机组容量 10.8 亿 kW，占全国发电装机总容量的 49.1%。

— 同年，全国发电量超过 7.4 万亿 kWh。其中，煤电机组发电量突破 5 万亿 kWh，占全国发电量的 68%。

— 全年，按运行电厂平均煤耗 310 克标准煤/kWh 计算，煤电机组年煤消费量 15.5 亿吨标准煤 ，占全国煤炭消费量的 54.8%；同时，二氧化碳排放量达到 40.3 亿吨。

参考信息:

国内，耗煤行业的年煤炭消费量比较:据 2018 年报道，全国煤炭消费量 32 亿吨。其中:发电行业用煤量 19.4 亿吨，占全国煤炭消费量的 60%；钢铁行业煤消费量，占 4.5%；建材行业水泥的煤消费量，占 9.2%；化工行业煤化工的煤消费量，占 5.6%。

因此，发电行业首先开展碳排放权交易活动，体现推进碳中和目标实现的行业责任与担当。

2，发电机组碳排放量核算与机组供电量计量

1）我国正在建设全国碳排放权交易市场

本部分内容摘自"文件 A"，并经编辑而成。
— 生态环境部:按照国家有关规定建设全国碳排放权交易市场
· 拟定全国碳排放权交易市场覆盖的温室气体种类和行业范围；
· 组织建设全国碳排放权注册登记系统和全国碳排放权交易系统。
— 温室气体重点排放单位
· 重点排放单位名录:属于全国碳排放权交易的市场覆盖行业；年度温室气体排放量达到 2.6 万吨二氧化碳当量。
· 重点排放单位应当控制温室气体排放，报告碳排放数据，清缴碳排放配额，公开交易及相关活动信息，接受生态环境主管部门的监督管理。
— 碳排放配额的分配与登记:（略）
— 碳排放权交易
· 全国碳排放权交易市场的交易产品为碳排放配额。
· 碳排放权交易应当通过全国碳排放权交易系统进行，可以采取协议转让、单向竞价或者其它符合规定的方式。
— 碳排放核定与配额清缴
· 重点排放单位应按时编制上一年度的温室气体排放报告，载明排放量，报所在地的省级生态环境主管部门。
· 省级生态环境主管部门的核查结果，应当作为重点排放单位的配额清缴依据。
· 重点排放单位在规定的时间内，向分配配额的省级生态环境主管部门清缴上年度的碳排放配额。
— 监督管理、 罚则:（略）
— 发电行业:国内首先开展碳排放权交易活动已经起步
自 2021 年 1 月 1 日起，全国碳市场发电行业第一个履约周期正式启动，2225 家发电企业将分配到碳排放配额。
碳排放配额是碳排放权交易的交易产品。此次划定排放配额的企业是年碳排放量达到 2.6 万吨二氧化碳当量的发电企业。
发电行业首先开展碳排放权交易活动已经起步，标志着全国碳市场的建设与发展进入新阶段。
2）发电机组碳排放量核算与机组供电量计量
— 发电机组碳排放量核算方法
下面，按"文件 B"的语言，将机组碳排放量核算改用机组碳排放配额。
重点排放单位的碳排放配额总量为其所拥有各类机组配额的总和。
· 采用（供电/供熱）基准法核算机组配额的公式
机组配额量=（供电基准值×实际供电量×修正系数）+（供熱基准值×实际供熱值）
· 修正系数:考虑到机组固有的特性等因素，通过引入修正系数提高同一类别机组配额分配的公平性。
· 2019--2020 年各类机组的碳排放（供电/供熱）基准值:
Ⅰ类机组:a、300MW 等级以上常规燃煤机组；b、供电基准值为 0.877（tCO2/MWh)；c、供熱基准值为 0.126（tCO2/GJ）
Ⅱ类机组:a、300MW 及以下常规燃煤机组；b、0.979（tCO2/MWh）；C、0.126（tCO2/GJ）
Ⅲ类机组:a、非常规燃煤机组；b、1.146（tCO2/MWh）；c、0.126（tCO2/GJ）
Ⅳ类机组:a、燃气机组；b、0.392（tCO2/MW）；c、0.059（tCO2/GJ）。
· 实际供熱量:（略）

以上说明:发电机组供电量是机组碳排放量核算的主要依据。前面已经说明:该机组供电量，由电网关口结算电能计量装置（智能电表）计量。
— 同时，"文件 B"还要求发电行业填报:"2019--2020 年发电行业重点排放单位配额预分配相关数据填报表"，内容包括:重点排放单位名称，社会信用代码，机组编号，主体燃料类型，装机容量（MW），机组类型，产品类型，2018 年度发电量（MWh），2018 年度供电量（MWh），2018 年度供熱量（GJ），2018 年度供熱比，供熱量修正系数，冷却方式，机组负荷（出力）系数，2019--2020 年预分配配额量。
可见，重点排放单位碳排放配额预分配计算，采用发电机组年发电量、年供电量数据。其中，机组发电量，由发电厂管理的发电量电能计量装置（智能电表）计量。
— 发电机组碳排放量核算的用途
· 重点排放单位:按时编制上一年度温室气体排放报告;
· 生态环境部:全国重点排放单位碳排放量预测，为制定年碳排放配额总量确定与分配方案提供基础数据;
· 省级生态环境主管部门:核查重点排放单位的年实际碳排放量。
3，强化电网关口结算电能计量装置（智能电表）计量管理，扩大新一代智能电表在电力系统开展节能降低碳排放量考核活动中的新应用
1）严格电网关口结算电能计量装置（智能电表）计量考核与推进新技术应用
— 电网关口结算电能计量装置（智能电表）计量的特殊性
· 300MW 及以上发电机组供电量，由关口结算电能计量装置（智能电表）计量。该计量装置，由电力行标划定为 Ⅰ 类计量装置，是电力系统内发电厂与电网企业间结算容量最大、最重要的电能计量装置，需要配置现代化计量技术、高精度的电能计量设备。
注:电网关口结算智能电表的误差波动，对机组供电量计量数据的影响
如:300MW 发电机组，在负荷率 80%、功率因数 0.8、年运行 5000h、厂用电率 9%条件下，年供电量为 8.73 亿 kWh，上网结算电费约 3.49 亿元; 电网关口结算智能电表误差波动 0.04%，引起机组年供电量波动 34.9 万 kWh，上网结算年电费波动 13.9 万元。
· 电网关口结算电能计量装置，由智能电表，电压互感器、电流互感器及各自的二次回路等计量单元构成。由于互感器电压高、电流大、二次回路长、互感器二次负荷时有变化，该电能计量装置的全面计量考核最为复杂。
· 电网关口结算电能计量装置，都配有主付两只智能电能表，严格计量数据考核。
· 电网关口结算电能计量装置的管理，由电网企业与发电厂按电力行标分工确定:该计量装置的配置、运行维护（包括互感器二次回路）管理，由发电厂负责；该计量装置的验收、校准、现场试验，由电网企业技术机构负责。
— 电力行标 DL/T448 --2016 《电能计量装置技术管理规程》对电网关口结算电能计量装置的技术要求
· 电能计量装置各单元准确度要求
其一，有功电能表，0.2S 级;无功电能表，2 级;
其二，电压互感器，0.2 级;电流互感器，0.2S 级;
其三，电压互感器二次电压降，应不大于额定二次物电压的 0.2%。
· 经互感器接入的贸易结算用电能计量装置，应按计量点配置电能计量专用电压、电流互感器或专用二次回路，并不得接入与电能计量无关的设备。
· 主付两只智能电能表:型号、准确度等级相同;过载倍数 4 倍及以上;根据互感器及其二次回路的组合误差优化选配智能电表;主付智能电表运行中的取数与误差约定:（略）。

· 互感器额定二次负荷的选择，应保证其实际二次负荷在 25%--100%额定二次负荷范围内;电流互感器额定二次负荷的功率因数为 0.8--1;电压互感器额定二次负荷的功率因数，与实际二次负荷的功率因数接近;对二次回路接入静止式电能表时，互感器额定二次负荷的选择:（略）。

— 推进电网关口结算电能计量装置新技术应用，重点研究解决长期积累的电网关口电能计量难点

· 电网关口结算智能电表面临技术升级，国产高端智能电表如何才能全面进入电网关口计量主表地位？

目前，电网关口结算智能电表的有功计量准确度，可以由 0.2S 级提高到 0.1S 级;基波无功计量由 2 级提高到 0.5S 级，产品标准（包括电能表的 IEC 标准、国标，国网 2020 版智能电表和智能物联电能表企业标准）已经完整，高准确度计量产品陆续推出。

这里提出的问题，国产高端智能电表还未能全面进入电网关口计量主表地位。

2004 年以来，IEC 静止式电能表最高准确度等级为 0.2S 级;国产 0.2S 级电子式电表的出厂误差一般控制在等级的 70%; 进口兰吉尔 0.2S 级、ZQ 型、采用数字乘法器技术的高精度结算关口电表，出厂平均精度±0.04%，即控制在等级的 20%;尽管兰吉尔 0.2S 级、ZQ 型关口电表价位比国产 0.2S 级电表高 8--10 倍，但电网关口结算计量的主付电表，还是以进口关口电表为主导。

2011 年，威胜推出 0.1S 级、采用数字乘法器技术的高准确度结算电网关口多功能电表，全面提升电表误差稳定性、可靠性设计水准，出厂误差控制在±0.04%。威胜推出此表，首先改变了国内电网关口结算计量主付电表的配置状况，付表，一般采用国产高端关口表; 部分主表，采用国产 0.1S 级关口表。

2018 年前后，IEC:0.1S 级静止式电能表标准发布;兰吉尔正在研发 0.1S 级、E860 系列新一代更高精度结算关口电表，并在软件和硬件方面，具备更先进的防窃电能力。

目前，国内，重要电网关口结算计量的主表，仍采用进口关口电表计量。由此，本文作者认为:电网计量部门、电表企业需要关注兰吉尔 0.1S 级关口电表新型产品推出，全面性能指标，出厂误差实际控制水平，供国产 0.1S 级关口电表提升性能的参考，期望国产关口电表全面进入电网关口结算计量主表地位。

· 电压互感器二次电压降往往超过额定二次电压（100V）的 0.2%。主要原因:高压互感器装在升压站，机组供电量电能表装在主控制室，两者相距 100---300 米，高压互感器二次负荷又大，电压互感器二次电压降有时超过 1%，即使并联二次电缆，还降不到 0.2%。

· 为电网关口结算电能计量装置开展综合误差计量考核作准备

100 万 kW 机组的电网关口结算电能计量装置，其智能电表、高压互感器及二次回路三者的计量综合误差波动 0.01%，引起机组年供电量计量波动 29 万 kWh。因此，电网关口结算实行综合误差计量考核，对发电厂与电网企业都是合理的。但是目前的技术条件不具备，主要有:

其一，发电厂的运行方式，随电网电力调度部门要求而改变，即高压互感器二次负荷经常变化。发电厂高压互感器大多是公用，互感器二次负荷需要进行动态监测，暂时做不到。

其二，电力行标，需要制定出电能计量装置的智能电表、互感器及二次回路，在不同结线方式下的综合误差计算公式。

其三，根据互感器及二次回路组合误差优化选配智能电表，需要有实施方案。

2）首先构建发电企业碳排放量在线监测系统

目前，构建发电企业碳排放量在线监测系统有两类方案。

— 第一类方案:江苏电力推出的电力行业碳排放精确计量系统

该系统由江苏电力所属江苏天方电力技术公司开发设计，包括锅炉、汽轮机、脱硫系统在内的火力发电设备的 2000 多个监测参数传输至计量系统，实时监测发电全过程排放的烟气的流速、湿度、二氧化碳浓度等数据，再通过关键参数的分析校验，精确计量碳排放量。

目前，江苏电力已经对省内 8 家主要火力发电企业开展碳排放精确计量试点;计划在 2022 年底前，建立起全省低碳调度管理体系。

— 第二类方案:本文作者提出构建发电企业机组碳排放量在线监测系统

该系统由省级电力参照"文件 B"的要求，采用（供电、供熱）基准法核算机组碳排放配额，即通过省级电力调度通信系统采集发电机组供电量、供熱量，再转入用电信息采集系统，并由发电企业提供的供电基准值修正系数，按下式计算出机组碳排放量:

机组碳排放量=（供电基准值×实际供电量×修正系数）+（供熱基准值×实际供熱量）

由各机组碳排放量，汇总出发电企业碳排放总量。

3）用户侧:以降低碳排放为导向，推进用户优化用电方式节能项目开展，扩大智能物联电表应用

— 电网营销部门

·研究提出工业、工商、居民用户开展节能降低碳排放的量化考核指标。

·研究提出碳排放核算用的用电基准值，即二氧化碳当量。

·研究提出各类用户优化用电节能方案。

·汇总分析工业、工商、居民用户开展节能降低碳排放项目实施结果，即由节能引起降低碳排放总量。

— 电网计量部门

·编制工业、工商业、居民用户优化用电节能方案的智能物联电表扩展模块软件

·研究智能物联电表适应扩展碳排放量监测新功能，其硬件、软件（包括碳排放显示量）设计改进。

·组织具有碳排放量核算功能的智能物联电表的招标应用

— 电网综合能源管理部门:推进、协调工业、工商、居民用户开展节能降低碳排放项目的实施。

结语

发电行业开展碳排放权交易活动需要依托电网关口结算电能计量装置（智能电表）提供准确可靠的计量数据。同时，推进新技术应用和综合误差计量考核也是提高电网关口电能计量准确性的重要手段

参考文献

[1] 每经记者 李彪 碳排放权交易可适时引入有偿分配 《每日经济新闻》- 2021-01-07

作者简介： 张春晖 男， (1938-), 从事电能计量技术研究。

通讯作者： 张震 男， (1977-), 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com